

MODIFIKASI ULANG HOTEL FAVE SURABAYA MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK PADA ELEMEN STRUKTUR BALOK DAN PELAT LANTAI

(1)Aditya Cahyadi, (2)I Gusti Putu Raka, (2)Tavio,.

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: tavio_w@yahoo.com

Abstrak - Beton pracetak adalah komponen beton yang dicor diluar site atau di pabrik. Kelebihan beton pracetak adalah lebih efektif untuk kawasan yang padat bangunan dibanding dengan struktur cast in place. Secara garis besar beton pracetak mempunyai 3 (tiga) tahapan pelaksanaan, yaitu tahap pembuatan, tahap pengangkutan dan tahap pemasangan. Gedung Hotel Fave Surabaya Jawa Timur yang dibangun 13 tingkat dengan cara cor di tempat (cast in place) dalam modifikasi perencanaan ini menggunakan beton pracetak pada balok induk, balok anak dan plat. Sedangkan kolom dan unsur sekunder lain (tangga dan kolom praktis) tetap menggunakan metode cast in place. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan tipe sambungan basah dengan sistem overtopping untuk menjamin kesatuan struktur yang cukup kaku dan penyebaran atau distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata. Penambahan dinding geser pada bangunan ini bertujuan untuk merancang ulang bangunan menggunakan Sistem Rangka Gedung, yaitu dengan partisipasi pemikulan pengaruh beban gempa oleh sistem rangka adalah kurang dari 10% dengan mempertimbangkan kompatibilitas struktur. Untuk struktur bangunan bawah direncanakan dengan podasi dalam menggunakan tiang pancang.

Kata kunci : beton pracetak, sambungan, sistem rangka gedung, pondasi dalam

I. PENDAHULUAN

Hotel Fave Ketintang Surabaya merupakan bangunan gedung 13 lantai yang direncanakan dengan metode beton konvensional. Metode ini walaupun umum dipakai dalam pembangunan gedung, saat ini masih terdapat beberapa kekurangan. Pertama, waktu pelaksanaan pekerjaan relatif lama terkait dengan pembukaan elemen bekisting beton yang berkisar 21 – 28 hari. Kedua, proses pengecoran di lapangan sangat bergantung pada kondisi cuaca sehingga sering terjadi penundaan pekerjaan yang mempengaruhi waktu penyelesaian proyek. Ketiga, kualitas beton sulit untuk di kontrol sehingga seringkali mutu beton tidak seragam. Keempat, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan relatif banyak sehingga biaya di sektor SDM (sumber daya manusia) cukup tinggi. Kelima, pemakaian bekisting sebagai media untuk mencetak beton menghasilkan banyak *waste material* terutama pada bekisting yang berbahan kayu.

Berdasarkan hal di atas, maka diperlukan desain alternatif yang dapat menutupi kekurangan pada metode beton konvensional, yaitu dengan menggunakan sistem beton pracetak. Sistem beton pracetak memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan sistem beton konvensional. Pertama, Beton pracetak adalah beton yang dicor dan dicetak di pabrik atau di dekat lokasi proyek. Karena proses pembuatannya di pabrik (pengawasan ketat), kualitas/mutu pekerjaan dari beton pracetak dapat terjaga dengan baik dan seragam [1]. Kedua, waktu pengerjaan sistem pracetak relatif lebih cepat dari sistem konvensional terutama pada bangunan yang tidak memiliki banyak variasi pada elemen strukturalnya. Ketiga, pengerjaan sistem pracetak tidak bergantung pada cuaca karena proses pengecoran dilakukan di pabrik. Ketiga, sistem pracetak tidak memerlukan bekisting di lapangan sehingga tidak terdapat *waste material* akibat penggunaan bekisting. Keempat, pada proses pengerjaan di lapangan tidak memerlukan banyak tenaga kerja sehingga biaya di sektor SDM (sumber daya manusia) dapat dikurangi.

Metode beton pracetak didesain dengan menganggap struktur bersifat monolit (cor di tempat) atau sama dengan beton konvensional. Metode desain seperti ini disebut pendekatan desain emulasi [2] Dengan pendekatan ini, konsep desain kapasitas yang biasa digunakan pada perancangan struktur beton konvensional dapat digunakan dalam perancangan struktur beton pracetak. Kemudian, pada beton pracetak, kekuatan beton harus dikontrol terhadap tahapan-tahapan yang dilalui beton sebelum terpasang di tempatnya seperti fabrikasi beton (*casting, cast* dan *curing*), penanganan (*handling*), penyimpanan (*storage*), penumpukan (*stacking*), pengiriman (*transport*) dan tahap pemasangan di lapangan (*site erection*) [1].

Berdasarkan pemaparan di atas, perencanaan gedung Hotel Fave Ketintang Surabaya dengan menggunakan sistem pracetak adalah pilihan yang tepat. Mengapa harus menggunakan pracetak? Karena disamping memiliki kelebihan di banding dengan sistem beton konvensional, struktur bangunan gedung Hotel Fave sangat memungkinkan untuk didesain dengan sistem pracetak karena memenuhi kriteria yang sudah di jelaskan di atas. Yaitu memiliki elemen struktur yang tipikal (tidak banyak variasi) [3] dan terletak di kota surabaya yang merupakan daerah zona gempa menengah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Teknologi beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu di tempat khusus (*off-site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi (*installation*). Sistem pracetak berbeda dengan konstruksi beton monolit pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan oleh metoda pelaksanaan dari fabrikasi, dan pemasangannya, serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar komponen (*joint*).

B. Preliminary Desain

Perancangan dimensi struktur sekunder dan struktur utama dihitung berdasarkan ketentuan dalam SNI-2847-2013.

C. Pembebanan

Pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI-1727-2013 dan SNI-1726-2012, yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 9.2 yaitu:

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E$$

$$U = 0,9D \pm 1,0E$$

D. Analisis Struktur

Analisa struktur dilakukan dengan program bantu ETABS 9.7.0 dengan permodelan 3 dimensi (space frame) sebagai Sistem Rangka Gedung. Struktur sekunder yang dihitung adalah pelat, tangga, balok anak dan balok elevator. Sedangkan struktur utama yang dihitung adalah balok, kolom, dan shearwall. Dan untuk struktur bawah yang dihitung adalah pile, pile cap dan sloof.

E. Desain Sambungan

Sambungan yang dipakai pada perancangan bangunan ini adalah sambungan basah dengan sistem overtopping dan brakit sebagai tumpuan agar dapat berperilaku seperti sistem monolit.

III. METODOLOGI

A. Preliminari Design

Direncanakan sebuah bangunan gedung dengan dimensi bangunan dengan data-data sebagai berikut :

Fungsi bangunan : Hotel

Lokasi bangunan : Surabaya

Tipe Tanah : Tanah Lunak

Panjang bangunan : 28.8 m

Lebar bangunan : 13.2 m

Tinggi bangunan : 46.2 m (termasuk rumah lift)

Lantai 1 : 4.8 m

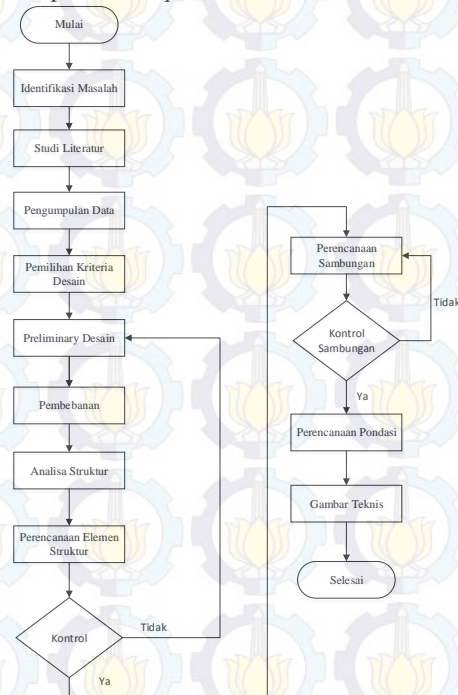
Lantai 2 s/d 13 : 3.2 m

Sistem struktur : Sistem Rangka Gedung (SRG)

Struktur Pondasi : Pondasi dalam

B. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Penyelesaian tugas akhir dengan judul “*Modifikasi Ulang Hotel Fave Surabaya Menggunakan Metode Beton Pracetak pada Elemen Struktur Balok dan Pelat Lantai*” dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

IV. KONTROL HASIL ANALISIS STRUKTUR

A. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Nilai akhir $V_{dinamik}$ harus lebih besar sama dengan 85% V_{statik} [4]. Maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{dinamik} \geq 0.85V_{statik}$$

Tabel 4.1 Kontrol nilai respon spektrum

	Fx	Fy	Kontrol Akhir	
			Fx	Fy
$V_{dinamik}$	4615.64		OK	
$0.85V_{statik}$	4605.06			
$V_{dinamik}$		4611.38		OK
$0.85V_{statik}$		4605.06		

B. Kontrol Nilai Partisipasi Massa

Partisipasi massa harus menghasilkan sekurang-kurangnya 90 % respon total dari perhitungan respon dinamik [4]. Mode 10 telah memenuhi ketentuan tersebut dengan rasio pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Rasio partisipasi massa

Mode	SumUX	SumUY
10	93.5045	93.8654
11	93.5048	93.8672
12	96.2078	93.878

C. Kontrol Simpangan (Drift)

Kontrol drift dan syarat drift harus ditentukan Rumus 4.1.

$$\delta_x = (C_d \delta_{xe}) / I$$

Rumus 4. 1

Dimana :

δ_x = Defleksi pada lantai ke-x

C_d = Faktor pembesaran defleksi, (5)

I = Faktor keutamaan gempa, (1)

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan kontrol simpangan pada struktur yang telah dianalisis.

Tabel 4.3 Kontrol simpangan arah - X

Tingkat	h_i (m)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δs (mm)	Δa (mm)	Keterangan
Lantai 13	43.2	74.15	370.75	21.650	64	OK
Lantai 12	40	69.82	349.10	21.600	64	OK
Lantai 11	36.8	65.50	327.50	26.800	64	OK
Lantai 10	33.6	60.14	300.70	28.850	64	OK
Lantai 9	30.4	54.37	271.85	29.850	64	OK
Lantai 8	27.2	48.40	242.00	32.950	64	OK
Lantai 7	24	41.81	209.05	36.050	64	OK
Lantai 6	20.8	34.60	173.00	29.850	64	OK
Lantai 5	17.6	28.63	143.15	36.050	64	OK
Lantai 4	14.4	21.42	107.10	34.000	64	OK
Lantai 3	11.2	14.62	73.10	29.850	64	OK
Lantai 2	8	8.65	43.25	21.600	64	OK
Lantai 1	4.8	4.33	21.65	21.650	96	OK

Tabel 4.4 Kontrol simpangan arah - Y

Tingkat	h_i (m)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Δs (mm)	Δa (mm)	Keterangan
Lantai 13	43.2	69.620	348.100	21.800	64	OK
Lantai 12	40	65.260	326.300	28.450	64	OK
Lantai 11	36.8	59.570	297.850	29.400	64	OK
Lantai 10	33.6	53.690	268.450	31.300	64	OK
Lantai 9	30.4	47.430	237.150	33.200	64	OK
Lantai 8	27.2	40.790	203.950	29.400	64	OK
Lantai 7	24	34.910	174.550	32.250	64	OK
Lantai 6	20.8	28.460	142.300	32.250	64	OK
Lantai 5	17.6	22.010	110.050	28.500	64	OK
Lantai 4	14.4	16.310	81.550	27.500	64	OK
Lantai 3	11.2	10.810	54.050	21.800	64	OK
Lantai 2	8	6.450	32.250	16.150	64	OK
Lantai 1	4.8	3.220	16.100	16.100	96	OK

D. Kontrol Periode

Periode struktur fundamental, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental, T, tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, T_a sebagaimana yang diperlihatkan pada Rumus 4.2 [9].

$$T_c < T = T_a \times C_u$$

Rumus 4. 2

Dimana :

T_a = Periode Fundamental pendekatan

C_u = Koefisien untuk batas atas

Dibawah ini adalah T hasil analisa struktur

- Arah X $\rightarrow T_{cx} = 1.192 \text{ dt} < T = 1.237 \text{ dt} \dots \dots \text{ok}$
- Arah Y $\rightarrow T_{cy} = 1.153 \text{ dt} < T = 1.237 \text{ dt} \dots \dots \text{ok}$

E. Kontrol Sistem Rangka Gedung

Berdasarkan SNI-1726-2012 Tabel 9 point B.4 Sistem Rangka Gedung (SRG) merupakan sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh rangka, sedangkan beban lateralnya dipikul oleh dinding geser. Struktur yang menggunakan sistem ini harus

menunjukkan bahwa dinding geser mampu menyerap 90 sampai dengan 100 persen gaya gempa pada arah yang ditinjau, sehingga rangka gedung hanya memikul gaya gravitasi ditambah momen akibat perpindahan lateral dinding geser. Hasil dari kontrol tersebut diperlihatkan pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Kontrol Rangka Gedung

No	Kombinasi	Prosentase dalam menahan gempa (kN)				Prosentase dalam menahan gempa (%)			
		Fx		Fy		Fx		Fy	
		Portal	Shearwall	Portal	Shearwall	Portal	Shearwall	Portal	Shearwall
1	1.2D+L+RSPX	113.98	2199.46	144.31	3232.42	4.93	95.07	4.27	95.73
2	1.2D+L+RSPY	-119.99	-2156.3	-116.02	-3289.32	5.27	94.73	3.41	96.59
3	1.2D+L+RSPX	116.57	3497.71	115.88	3165.69	3.23	96.77	3.53	96.47
4	1.2D+L+RSPY	-155.73	-3578.62	-120.57	-3213.06	4.17	95.83	3.62	96.38
5	0.9D+RSPX	129.81	3241.32	141.68	3325.84	3.85	96.15	4.09	95.91
6	0.9D+RSPY	-95.66	-3251.27	-121.2	-3122.98	2.86	97.14	3.74	96.26
7	0.9D+RSPX	143.17	3484.13	136.35	3190.5	3.95	96.05	4.10	95.90
8	0.9D+RSPY	-126.57	-3604.12	-96.66	-3185.55	3.39	96.61	2.94	97.06

V. HASIL PERENCANAAN

A. Hasil Perencanaan

Hasil perencanaan struktur dari tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan Tabel 5.3.

Tabel 5.1 Hasil perencanaan struktur sekunder.

Elemen Struktur	Dimensi (mm)	Tulangan
Pelat A	120	φ10-160 (Arah X)
		φ10-240 (Arah Y)
Pelat B	120	φ10-240 (Arah X)
		φ10-240 (Arah Y)
Tangga	120	φ12-100 (Arah X)
		φ12-200 (Arah Y)
Pelat Bordes	120	φ12-100 (Arah X)
Balok Bordes	300 x 500	4D16 (Lapangan)
		4D16 (Tumpuan)
Balok Lift	300 x 500	φ10-125
		3D19 (Lapangan)
Balok Anak	300 x 500	3D19 (Tumpuan)
		φ10-150
Balok Anak	300 x 500	5D19 (Lapangan)
		7D19 (Tumpuan)
Balok Anak	300 x 500	φ10-200
		φ10-200

Tabel 5.2 Hasil perencanaan struktur primer

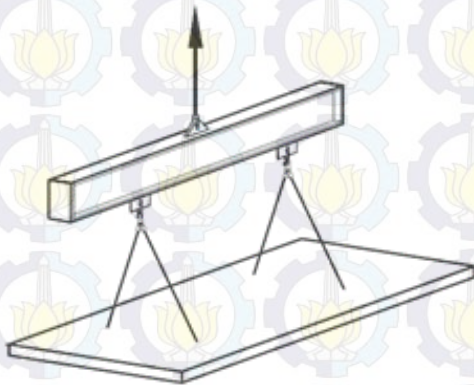
Elemen Struktur	Dimensi (mm)	Tulangan
Kolom	600 x 600	16D25 (Tul.Utama)
		2φ12 (Sengkang)
Balok B1	400 x 600	4D19 (Lapangan)
		6D19 (Tumpuan)
Dinding Geser Siku	400 x 6750	φ10-200
		1D25-100 (Longitudinal)
Dinding Persegi	400 x 2850	D19-200 (Transversal)
		1D25-100 (Longitudinal)
Dinding Persegi	400 x 2850	D19-200 (Transversal)
		D19-200 (Transversal)

Tabel 5.3 Hasil Perencanaan Pondasi

Elemen Struktur	Dimensi (mm)	Tulangan
Pondasi Kolom	600 x 600	5 buah
Pondasi Dinding Geser Siku	400 x 6750	10 buah
Pondasi Dinding Geser Persegi	400 x 2850	6 buah
Poer	Poer	D25-250 (arah x)
Sloof	45/70	D25-450 (arah y)
		10D22 (Tul.Atas)
Sloof	45/70	10D22 (Tul.Bawah)
		10D22 (Tul.Bawah)

B. Pengangkatan Elemen Pracetak

1. Penangkatan Elemen Pelat Lantai



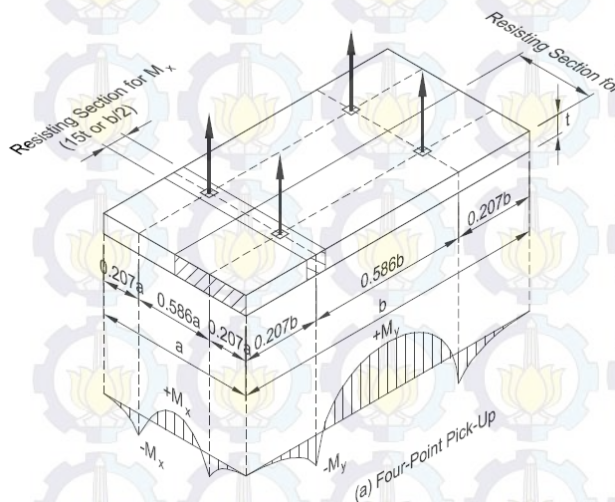
Gambar 3.2 Pengangkatan Pelat Pracetak (4 titik angkat)
(Sumber : PCI 6th Edition)

Pengangkatan elemen pelat pracetak menggunakan empat titik angkat dengan memanfaatkan *spreader beam* sebagai media angkat. Perhitungan momen pada pelat akibat empat titik angkat menggunakan rumus 4.3 dan rumus 4.4 [5].

$$M_x = 0.0107 \times w \times a^2 \times b \quad \text{Rumus 4.3}$$

$$M_y = 0.0107 \times w \times a \times b^2 \quad \text{Rumus 4.4}$$

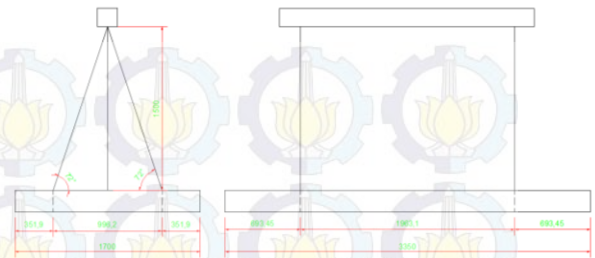
Nilai a dan b merupakan dimensi dari pelat seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3.



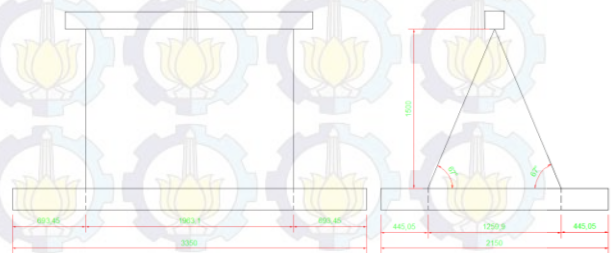
Gambar 3.3 Momen akibat empat titik angkat
(Sumber : PCI 6th Edition)

Pada Gambar 3.3 diperlihatkan penempatan titik-titik angkat pelat pracetak dan diagram momen akibat titik-titik angkat tersebut.

Berdasarkan ketentuan tersebut didapatkan titik angkat pelat A dan pelat B seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



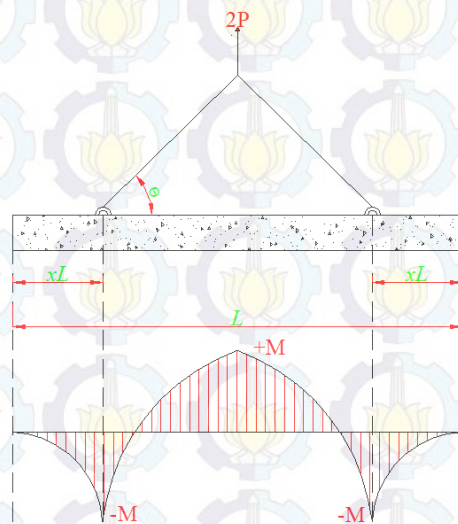
Gambar 3.4 Pengangkatan Pelat A
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3.5 Pengangkatan Pelat B
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2. Pengangkatan Elemen Balok

Pengangkatan elemen balok digunakan dua titik angkat dengan memperhitungkan pengaruh sudut seperti diperlihatkan pada Gambar 3.6. Kemudian titik angkat tersebut dikontrol dengan menggunakan rumus 4.5, rumus 4.6 dan rumus 4.7.



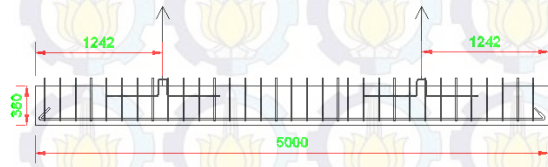
Gambar 3.6 Pengangkatan Elemen Balok Pracetak
(Sumber : PCI Design Handbook 5th Edition)

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right) \quad \text{Rumus 4.5}$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2} \quad \text{Rumus 4.6}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)} \right)}$$

Rumus 4. 7



Gambar 3.7 Pengangkatan Balok Anak
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Gamabr 3.7 merupakan perencanaan pengangkatan untuk balok anak. Dipakai tulangan angkat diameter 10 mm.

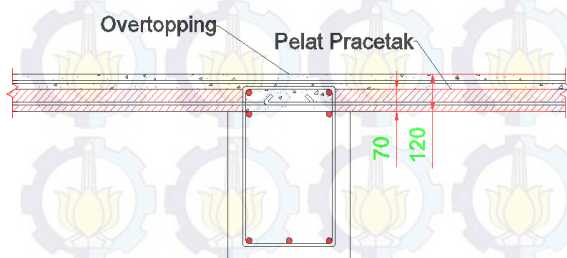


Gambar 3.8 Pengangkatan Balok Primer
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Gamabr 3.8 merupakan perencanaan pengangkatan untuk balok induk. Dipakai tulangan angkat diameter 10 mm.

C. Sambungan Elemen Pracetak

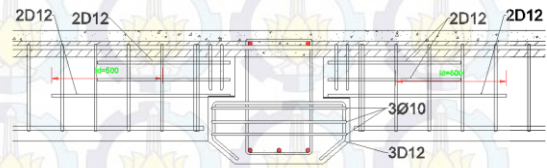
1. Sambungan Pelat-Balok



Gambar 3.7 Sambungan Balok - Pelat
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sambungan antara balok dengan pelat menggunakan sistem overtopping dengan mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud-stud pelat). Kemudian pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat [6].

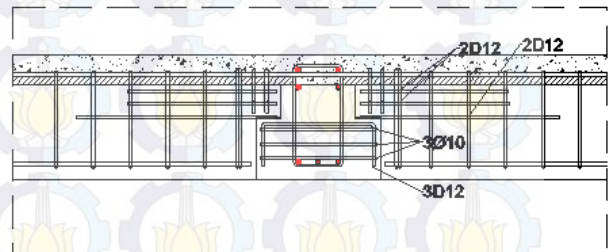
2. Sambungan Balok Induk-Balok Anak



Gambar 3.9 Pengangkatan Pelat B
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sambungan antara balok induk dengan balok anak menggunakan sambungan tipe *dapped end beam* [4] dengan brakit pada balok induk sebagai tumpuan.

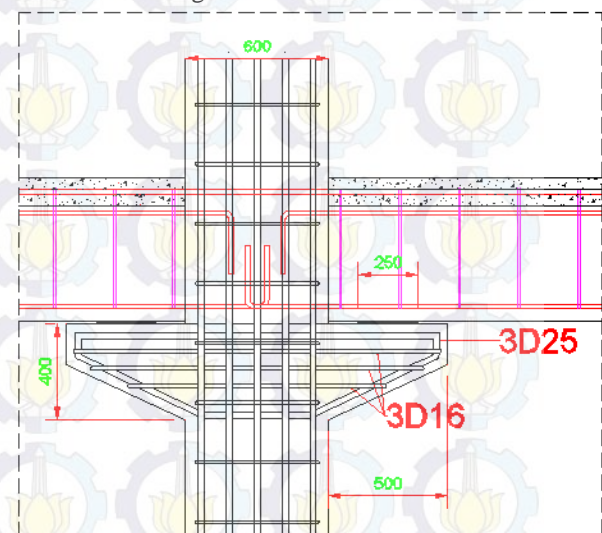
3. Sambungan Balok Anak - Balok Anak



Gambar 3.10 Pengangkatan Pelat B
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sambungan antara balok anak dengan balok anak menggunakan sambungan tipe *dapped end beam* [4] dengan brakit pada salah satu balok anak sebagai tumpuan.

4. Sambungan Balok-Kolom



Gambar 3.11 Sambungan Balok Pracetak – Kolom
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Sambungan antara balok induk dengan kolom menggunakan sistem overtopping dengan brakit pada kolom. kemudian tulangan tumpuan dibuat menerus melintasi kolom.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan elemen beton pracetak memiliki banyak keuntungan dibandingkan beton konvensional (insitu). Diantaranya adalah kualitas beton terjamin, waktu pelaksanaan lebih cepat dan pada kondisi tertentu biaya konstruksi bangunan menjadi lebih hemat.

Berdasarkan perhitungan modifikasi struktur gedung Hotel Fave Ketintang Surabaya yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Dimensi elemen struktur :
 - a. Tebal plat lantai & plat atap = 12 cm
 - b. Dimensi balok anak = 30/50 cm
 - c. Dimensi balok struktur = 40/60 cm
 - d. Dimensi kolom = 60/60 cm
 - e. Dimensi shearwall = 40 cm
2. Perencanaan struktur gedung menggunakan elemen pracetak dibuat menyerupai monolit dengan cara memakai sambungan basah (wet connection).
3. Perencanaan struktur gedung dengan Sistem Rangka Gedung telah memenuhi persyaratan SNI - 1726-2012 yaitu partisipasi pemikulan pengaruh gempa oleh struktur balok & kolom hanya diperkenankan sebesar kurang dari 10 % dengan mempertimbangkan adanya kompatibilitas struktur [7].
4. Dari data tanah di daerah Ketintang Surabaya dapat dilihat bahwa kondisi tanah tidak terlalu baik sehingga diperlukan pile dalam jumlah cukup banyak. Dari perhitungan pondasi, dipakai 3 macam pile cap yaitu :
 - a. Pile cap kolom
Bentuk persegi, terdiri dari 5 pile diameter 50 cm dengan kedalaman 40 m
 - b. Pile cap dinding geser siku
Bentuk siku, terdiri dari 10 pile diameter 60 cm dengan kedalaman 40 m
 - c. Pile cap dinding geser persegi panjang
Bentuk persegi panjang, terdiri dari 6 pile diameter 60 cm dengan kedalaman 40 m

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ervianto, Wulfram I. 2006. "Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi" Yogyakarta : CV. Andi
- [2] Warnes, C.E. 1992. Precast Concrete Structural System
- [3] Bruggelling, A.S.G. 1991. Prefabrication With Concrete. Rotterdam: A.A.Balkema
- [4] Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2012), Badan Standardisasi Nasional, Jakarta 2012.
- [5] PCI, Sixth Edition. PCI Design Handbook Precast and Prestress Concrete. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
- [6] PCI, 1992, PCI Design Handbook Precast and Prestress Concrete, Chicago, Illinois, Fourth
- [7] Edition. Purwono, Rachmat. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa, Surabaya, ITS Pers. Sosrodarsono, Suyono.